

## ارزیابی آثار تغییر اقلیم و فعالیت انسانی بر منابع آب (مطالعه موردی: رودخانه کارون)

مریم نعیمی<sup>۱\*</sup>، سمیرا زندی فر<sup>۱</sup>، الهام فیجانی<sup>۲</sup>، سعید فرزین<sup>۳</sup>

۱. استادیار بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۲. استادیار، دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

۳. استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۴/۲۲، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۰۷/۳۰)

### چکیده

تغییر اقلیم و فعالیت های انسانی، از جمله سدسازی و برداشت آب برای مصارف مختلف، دو کلیدواژه در مدیریت منابع آب هستند که به طور مستقیم بر تبادلات آب بین منابع آب سطحی و زیرزمینی مؤثرند. تحقیق حاضر به تعیین سهم تغییر اقلیم (خشکسالی هیدرولوژیکی) و فعالیت های انسانی (سدسازی) بر منابع آب رودخانه کارون پرداخته است. به این منظور، منابع آب سطحی و آبخوان محدوده مطالعاتی گتوند-عقبلی برای مطالعه انتخاب شد. با تجزیه و تحلیل ماتریس ایرانی آثار سدسازی بر منابع آب مشخص شد. نتایج نشان داد تعداد آثار میانگین جبری منفی در ستون برابر با ۶ عدد و تعداد پیامدهای میانگین جبری منفی در ردیف برابر با ۴ عدد است که در این بین، تعداد پیامدهای منفی کمتر از ۳/۱- در ستون، به توسعه گردشگری و تفرج مربوط می شود. همچنین، تعداد آثار منفی کمتر از ۳/۱- در ردیف، مربوط به کیفیت آب رودخانه است. در ادامه، به منظور تعیین سهم تغییر اقلیم در تغییرات منابع آب، شاخص های خشکسالی هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی در دوره آماری ۱۵ ساله محاسبه شدند. نتایج مقایسه میزان هدایت الکتریکی و TDS در نقاط نمونه برداری شده نشان دهنده افزایش درخور توجه بود که با نتایج ماتریس ایرانی همخوانی داشت. همچنین، با توجه به آبرگیری سد گتوند علیا در سال ۱۳۹۰ و مقایسه شاخص های SDI و GRI نشان می دهد طی سال های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴ خشکسالی هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی در منطقه وجود نداشته است و بر این اساس، می توان بخشی از افت آبخوان را ناشی از احداث سد گتوند علیا و برداشت های منطقه ای دانست.

**کلیدواژگان:** ارزیابی آثار محیط زیست، تغییر اقلیم، توسعه پایدار، سد، منابع آب.

## مقدمه

حوضه آبریز کارون بزرگ با مساحت ۶۷۲۵۷ کیلومتر مربع به لحاظ آبی یکی از حوضه‌های آبریز مهم کشور است. فراوانی ریزش‌های جوی به‌ویژه در سرشاخه‌های این حوضه، پتانسیل عظیمی از منابع آب سطحی را در این حوضه ایجاد کرده است، به گونه‌ای که بیش از ۲۵ درصد از جریان‌های سطحی کشور در آن جریان دارد. همچنین، شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی این حوضه (زون زاگرس) در کنار ریزش‌های جوی مناسب، ذخایر درخور توجهی از منابع آب زیرزمینی را در مخازن سازندهای سخت و آبخوان‌های آبرفتی حوضه آبریز کارون بزرگ ایجاد کرده است [۱]. بر این اساس، مطالعات نشان می‌دهد روند بهره‌برداری از سدها در حوضه کارون طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ به میزان ۱۰ برابر افزایش داشته است [۲]. در حد فاصل سد گذار لندر و گتوند، سد گتوند علیا قرار دارد. سد گتوند علیا یکی از طرح‌های بزرگ عمرانی کشور است که در استان خوزستان و روی رودخانه کارون بین مسجد سلیمان و سد تنظیمی گتوند احداث شده است.

سدهای بزرگ معمولاً به صورت چندمنظوره و با اهدافی همچون ذخیره آب برای فصول کم‌آب، کنترل سیلاب، تولید انرژی و استفاده تفریحی ساخته می‌شوند [۳]. تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی، از جمله سدسازی و برداشت آب برای مصارف مختلف، دو کلیدواژه در مدیریت منابع آب هستند که به طور مستقیم بر تبادلات آب بین منابع آب سطحی و زیرزمینی مؤثرند [۴]. ضرورت تأمین آب از یک طرف و تغییراتی که سدها بر محیط اطراف دارند از طرف دیگر، توجه به آثار طرح‌های سدسازی بر محیط زیست را الزامی می‌کند [۵]. به طوری که هزینه سرمایه‌گذاری به طور نسبی و یا کامل ضایع شود و رسیدن به اهداف سد را غیر ممکن سازد [۶]. با توجه به ارائه گزارش‌های آثار احداث سد بر محیط زیست [۷]، بررسی پیامدهای ناشی از فعالیت پروژه‌های سد و سازه‌های جنبی با شدت، اهمیت و دامنه متفاوت در مرحله احداث و بهره‌برداری ضروری است [۸ و ۹].

مطالعات پیشین در ارتباط با ارزیابی آثار سد گتوند علیا بر محیط زیست با اهداف مختلف صورت گرفته است. رحمتی و نظریان در مطالعه‌ای آثار اقتصادی - اجتماعی و زیست‌محیطی سکونتگاه‌های مشمول جابه‌جایی ناشی از احداث سد گتوند روی رودخانه کارون را بررسی کردند [۱۰].

ارزیابی ریسک محیط زیستی سد گتوند علیا در مرحله بهره‌برداری با استفاده از روش تلفیقی آنالیز مقدماتی خطر و تکنیک نشان داد شور شدن آب به علت گنبد نمکی و بر اثر فعالیت آگیری مخزن، فرسایش و رسوب در پایین‌دست سد به علت تأمین منابع قرضه و ایجاد پساب و فاضلاب انسانی به علت فعالیت تورسیم دارای سطح ریسک زیاد و کمترین عدد اولویت ریسک مربوط ایجاد محیط مناسب برای رشد و تکثیر حشرات به علت آگیری مخزن سد و فشرده شدن خاک به علت توسعه کشاورزی و تردد ماشین‌آلات سنگین است [۱۱]. سیدی و همکاران به ارزیابی آثار زیست‌محیطی سد برق‌آبی گتوند در سه عنصر محیط زیست، واحدهای بیولوژیکی، فیزیکی-شیمیایی و فرهنگی پرداختند و نشان دادند آثار مخرب بر جنبه‌ای بیولوژیکی و فیزیکی به ترتیب طولانی‌مدت و کوتاه‌مدت است [۱۲].

از طرفی، مطالعات پیش‌تر در ارتباط با آثار خشکسالی و شرایط اقلیمی سال‌های اخیر بر منابع آب زیرزمینی صورت پذیرفته است [۱۳ و ۱۷]. بررسی آثار بالقوه تغییر اقلیم روی سطح آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد تغییرات اقلیمی همبستگی شدیدی با سطح سالانه آب‌های زیرزمینی دارند [۱۸]. نتایج مطالعات خشک‌سالی‌های آب زیرزمینی دشت شهرکرد نشان می‌دهد روش زنجیره مارکوف در هر سه مرتبه دقت خوبی در پیش‌بینی مقادیر شاخص آب زیرزمینی (GRI<sup>۱</sup>) در یک، دو و سه ماه آینده دارد، بنابراین از آن می‌توان برای پیش‌بینی خشک‌سالی آب زیرزمینی دشت شهرکرد استفاده کرد [۱۶]. ارتباط خشک‌سالی و منابع آب زیرزمینی دشت تبریز در خصوص ۴۰ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق طی دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۸۱ بررسی شده است. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد تراز آب زیرزمینی دشت دارای روند منفی است و در دوره آماری بررسی شده حدود ۳/۹۴ افت دارد [۱۹]. بررسی آثار اقلیم بر تغییرات کیفی آب سد گتوند طی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵ نشان می‌دهد هم‌زمان با شروع خشک‌سالی هیدرولوژیک و کاهش شدید دبی رودخانه کارون از سال ۱۳۸۶ هدایت الکتریکی در ایستگاه‌های گتوند و اهواز افزایش داشته است [۲۰]. صالح‌وند و سبزواری به بررسی آلودگی زیست‌محیطی در ایستگاه گتوند در چند سال اخیر پرداختند و پس از بررسی چهار

جغرافیایی ۱۲ و ۳۲ تا ۱۷ و ۳۲ شمالی قرار دارد. محل سد در ۲۵ کیلومتری شمال شوشتر، ۵ کیلومتری گتوند و با هدف تأمین انرژی برق‌آبی با آب قابل تنظیم سالانه ۱۵۰۰ میلیون مترمکعب و ظرفیت اسمی نیروگاه ۱۰۰۰ مگاوات توسط شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران ساخته شده است. سد گتوند علیا سنگریزه‌ای با هسته رسی بوده که با طول تاج ۷۶۰ متر، ارتفاع از پی ۱۸۲ متر و حجم مفید ۳۴۷۰ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۱ به بهره‌برداری رسیده است. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعه‌شده در محدوده سد گتوند علیا را نشان می‌دهد.

رود اصلی منطقه مطالعه‌شده کارون است. رودخانه کارون در شمال شوشتر (گتوند) وارد دشت خوزستان می‌شود. کارون در ابتدای مسیر خود در دشت خوزستان به صورت شاخه‌شاخه (شریانی) است و در فاصله کوتاهی حالت یک پیچان‌رود را به خود می‌گیرد. همچنین، آبخوان آبرفتی در محدوده مطالعه‌شده به مساحت ۲۶۶ کیلومتر مربع با ضخامت متوسط ۶۰ متر است. درخور یادآوری است مساحت کل محدوده بررسی‌شده ۱۱۴۵ کیلومتر مربع است.

### مواد و روش‌ها

#### ارزیابی آثار احداث سد بر محیط زیست

برای بررسی سهم آثار انسانی (سدسازی) بر منابع آب، از روش ماتریس ایرانی به منظور نشان دادن آثار کلیه فعالیت‌های طرح بر پارامترهای زیست‌محیطی و نیز برای تعیین میزان کمی واردشده استفاده شده است. در این روش آثار یک فعالیت هم از نظر شدت و اهمیت و هم از نظر میزان و وزن مورد سنجش قرار می‌گیرد که در این بررسی‌ها در محدوده ۱ تا ۵ تعریف شده و با ماهیت‌های مثبت و منفی لحاظ می‌شود (جدول ۱). جمع جبری ارزش‌ها و امتیازها، تعیین‌کننده وضعیت کلی آثار طرح است و چنانچه ماهیت هر یک از آثار در جهت تعادل محیط زیست عمل کند، به عنوان آثار مثبت و در غیر این صورت، به عنوان آثار منفی تلقی می‌شوند. نتیجه ماتریس ممکن است یکی از پنج حالت: «پروژه مردود است»، «پروژه تأیید است»، «پروژه با گزینه‌های اصلاحی قابل تأیید است»، «پروژه با ارائه طرح‌های بهسازی تأیید می‌شود» و یا اینکه «پروژه با ارائه طرح‌های بهسازی و گزینه‌های اصلاحی قابل تأیید است»، باشد.

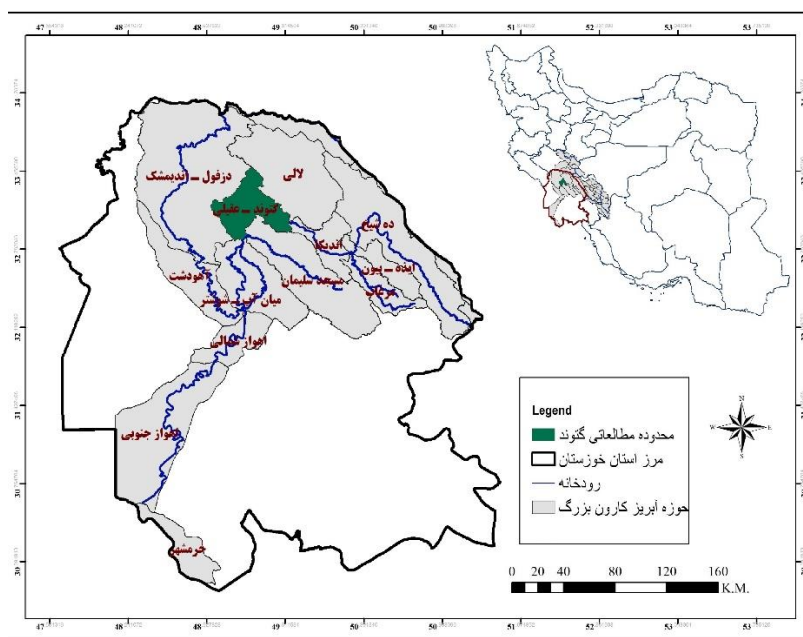
دوره ۱۰ ساله (۴۰ سال آمار)، نشان دادند در برخی موارد تغییرات شدید در کیفیت آب از جمله افزایش میزان هدایت الکتریکی، کلر، سختی آب و سدیم در دوره چهارم مشاهده شده است [۲۱].

مطالعات پیشین در ارتباط با حوضه آبریز کارون نشان می‌دهد فعالیت‌های انسانی اثرگذار بر رودخانه کارون در مناطق کوهستانی شامل اجرای طرح‌ها و پروژه‌های بزرگ و کوچک، سدسازی و انتقال بین حوضه‌ای آب از رودخانه کارون به حوضه‌های مجاور، تعادل هیدرولوژیکی و اکولوژیکی کارون را در مناطق بالادست به هم زده است [۲۲]. بنابراین، در حال حاضر این رودخانه در حوضه آبریز بالادست خود با زنجیره‌ای از سدهای ساخته‌شده مدیریت می‌شود.

از مرور منابع استنباط می‌شود که هر چند طی سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای در خصوص کیفیت آب رودخانه کارون صورت گرفته است؛ اما سهم فعالیت‌های انسانی (سد گتوند علیا) و تغییرات اقلیم (خشکسالی هیدرولوژیکی) بر منابع آب (کمیت و کیفیت) مشخص نشده است. از طرفی، تا کنون مطالعاتی در ارتباط با آثار سد گتوند بر آبخوان گتوند-عقیلی صورت نگرفته است. بر این اساس، در مطالعه حاضر به منظور تعیین سهم فعالیت‌های انسانی و طبیعی در تغییرات کیفیت و کمیت منابع آب ایستگاه گتوند، پس از شناسایی فعالیت‌های سد گتوند علیا، برای ارزیابی آثار سد بر منابع آب با استفاده از ماتریس ایرانی اقدام شد. در ادامه، منابع آب محدوده سد بررسی شد. این بررسی شامل کیفیت آب سطحی و زیرزمینی و تغییرات کمی آب زیرزمینی می‌شود تا در نهایت، سهم هر یک در تغییرات منابع آب منطقه مطالعاتی مشخص شود.

#### منطقه مطالعه‌شده

گتوند یک سد تنظیمی به نام گتوند و یک سد بزرگ برای تولید انرژی و ذخیره‌سازی آب به نام گتوند علیا دارد. سد گتوند علیا پایین‌دست‌ترین سد بزرگ ساخته‌شده روی رودخانه کارون، قبل از ورود به جلگه خوزستان است و در بالادست آن به ترتیب سدهای گذارلندر (مسجد سلیمان)، شهید عباسپور (کارون ۱)، کارون ۳ و کارون ۴ ساخته شده و سدهای دیگری نیز در دست مطالعه یا اجرا هستند. سد گتوند علیا به لحاظ جغرافیایی در میان طول‌های جغرافیایی ۴۹ و ۴۸ تا ۵۷ و ۴۸ شرقی و عرض‌های



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده در محدوده سد گتوند علیا

جدول ۱. ارزش‌های کمی در ماتریس ایرانی [۲۵]

| امتیاز | اثر منفی        | امتیاز | اثر مثبت         |
|--------|-----------------|--------|------------------|
| -۵     | تخریب خیلی زیاد | +۵     | سودمندی خیلی خوب |
| -۴     | تخریب زیاد      | +۴     | سودمندی خوب      |
| -۳     | تخریب متوسط     | +۳     | سودمندی متوسط    |
| -۲     | تخریب ضعیف      | +۲     | سودمندی ضعیف     |
| -۱     | تخریب ناچیز     | +۱     | سودمندی ناچیز    |

معتمد سازمان حفاظت محیط زیست در استان خوزستان منتقل شدند تا آزمایش‌های مربوطه انجام شود.

در ادامه، به منظور بررسی تغییرات سالیانه کیفیت آب رودخانه کارون، آمار و اطلاعات مربوط به کیفیت آب در ایستگاه گتوند از شرکت مدیریت منابع آب ایران درخواست شد. طول دوره آماربرداری انتخابی در این مطالعه از سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ تا ۹۷-۱۳۹۶ می‌باشد. شایان یادآوری است اطلاعات مربوطه شامل مقادیر EC، TDS، نسبت جذب سدیم (SAR<sup>۵</sup>) و TH به همراه میزان یون‌های کلسیم و منیزیم بود.

برای بررسی سهم تغییر اقلیم بر کیفیت منابع آب سطحی، از شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی<sup>۶</sup> (SDI)

بررسی سهم تغییر اقلیم و سدسازی بر کیفیت منابع آب سطحی

برای بررسی سهم فعالیت‌های انسانی (سد) بر کیفیت منابع آب سطحی، عملیات نمونه‌برداری از آب از سه نقطه شامل فرازبند<sup>۱</sup>، بالادست و ۵۰۰ متر پایین‌دست بند تنظیمی سد گتوند علیا انجام شد. نمونه‌برداری از مرکز رودخانه صورت گرفت. برای هر نمونه یک لیتر نمونه مرکب برداشت شد و از نظر میزان کل هدایت الکتریکی (EC<sup>۲</sup>)، میزان کل جامدات معلق (TDS<sup>۳</sup>)، pH و اکسیژن خواهی شیمیایی (COD<sup>۴</sup>) و سختی آنالیز شدند. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها به یکی از آزمایشگاه‌های

۱. سد انحرافی موقت که در مسیر جریان آب ساخته می‌شود.

2. Electrical Conductivity  
3. Total Dissolved Solid  
4. Chemical Oxygen Demand

5. Sodium Adsorption Ratio  
6. Stream-flow Drought Index (SDI)

سطح آب، تراز آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای مربوط به مهرماه ۱۳۹۶ از تراز آب در مهرماه ۱۳۹۱ و نیز تراز آب در مهرماه ۱۳۹۱ از تراز آب در مهرماه ۱۳۸۶ کسر شده و نقشه پهنه‌بندی تغییرات پنج‌ساله آب زیرزمینی تهیه شده است. درخور یادآوری است پهنه‌بندی‌ها توسط درون‌یابی در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.3.1 رسم شده‌اند.

در نهایت، برای تعیین سهم آثار تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر کمیت منابع آب زیرزمینی از شاخص هیدروژئولوژیکی و تراز آب زیرزمینی استفاده شد. شاخص خشکسالی هیدروژئولوژیکی<sup>۱</sup> (GRI) به عنوان الگوی معتبر و کاربردی، برای تعیین سهم تغییر اقلیم بر منابع آب استفاده شد. شاخص GRI در سال ۲۰۰۸ توسط مهندسین و همکاران به عنوان شاخصی قابل اعتماد به منظور پایش وضعیت خشکسالی آب زیرزمینی پیشنهاد شد. مقدار شاخص GRI با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$GRI = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}} \quad (3)$$

که در آن  $D_{y,m}$  مقادیر تراز سطح آب زیرزمینی در سال  $y$  و ماه  $m$ ،  $\mu_{D,m}$  و  $\sigma_{D,m}$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار مقادیر تراز آب زیرزمینی در ماه  $m$  طی دوره آماری هستند. طبقه‌بندی مقادیر شاخص GRI در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. طبقه‌بندی شدت خشکسالی با توجه به مقادیر

#### شاخص GRI

| GRI          | طبقات خشکسالی      |
|--------------|--------------------|
| $2 \leq$     | ترسالی بسیار شدید  |
| $1/5 - 2$    | ترسالی شدید        |
| $1 - 1/5$    | ترسالی متوسط       |
| $0/5 - 1$    | ترسالی ملایم       |
| $-0/5 - 0/5$ | نرمال              |
| $-0/5 - -1$  | خشکسالی ملایم      |
| $-1 - -1/5$  | خشکسالی متوسط      |
| $-1/5 - -2$  | خشکسالی شدید       |
| $\geq -2$    | خشکسالی بسیار شدید |

استفاده شد. به این منظور، آمار و اطلاعات مربوط به منابع آب سطحی از شرکت مدیریت منابع آب ایران درخواست شد. پس از دریافت اطلاعات، ضمن بررسی دقت و صحت آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده و رفع نواقص آماری، نسبت به تکمیل آمار و انجام تجزیه و تحلیل‌های لازم اقدام شد. طول دوره آماری انتخابی از سال ۸۴-۱۳۸۳ تا ۹۷-۱۳۹۶ می‌باشد.

شاخص خشکسالی هیدروژئولوژیکی در سال ۲۰۰۹ توسط نالباتیس و همکاران ارائه شد [۲۶]. شاخص SDI مقدار دبی ماهانه هر ایستگاه هیدرومتری را بر توزیع آماری مناسبی برازش می‌دهد. در این خصوص شاخص SDI با استفاده از داده‌های دبی ماهانه در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه‌های حوضه، طبق روابط ۱ و ۲ محاسبه شد.

$$SDI_{jk} = V_{jk} - V_k / S_k \quad (1)$$

$$V_{jk} = \sum_{i=1}^{3k} Q_{ij} \quad i = 1, 2, \dots; k = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, \dots, 12 \quad (2)$$

که در آن  $i$  سال هیدروژئولوژیکی؛  $j$  ماه (به طور مثال، برای ماه مهر  $j=1$  و برای ماه شهریور  $j=12$ )؛  $k$  دوره زمانی؛  $Q$  دبی رودخانه.

#### بررسی سهم تغییر اقلیم و سدسازی بر منابع آب زیرزمینی

برای تعیین سهم آثار تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی از شاخص هیدروژئولوژیکی و میزان تخلیه از آبخوان‌ها استفاده شد. به این منظور، آمار و اطلاعات مربوط به منابع آب زیرزمینی از شرکت مدیریت منابع آب ایران درخواست شد. پس از دریافت اطلاعات، ضمن بررسی دقت و صحت آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده و رفع نواقص آماری نسبت به تکمیل آمار و انجام تجزیه و تحلیل‌های لازم اقدام شد. طول دوره آماری انتخابی در این مطالعه از سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ تا ۹۷-۱۳۹۶ می‌باشد.

سپس، در مرحله اول به بررسی تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی پرداخته شد. به منظور تهیه نقشه خطوط هم‌تراز از داده‌های ماه حداقل سال آخر دوره آماری برای آبخوان استفاده شد. همچنین، به منظور بررسی میزان افت

## یافته‌ها و بحث

## ارزیابی آثار فعالیت انسانی بر منابع آب

در مطالعه حاضر به بررسی سهم تغییر اقلیم و فعالیت انسانی (احداث سد) بر منابع آب، مطالعه موردی رودخانه کارون پرداخته شده است. بر این اساس، با توجه به پارامترهای یادشده فعالیت‌های مؤثر انتخاب و در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به قرارگیری محل سد گتوند علیا در منطقه‌ای با حضور سازند گچساران، پیش‌بینی آثار فعالیت‌های زمان بهره‌برداری نشان می‌دهد که عمده‌ترین آثار پروژه بر پارامترهای محیط زیست منطقه بر منابع آبی است که شامل کیفیت آب رودخانه، کیفیت آب مخزن، کیفیت آب زیرزمینی و تغییرات کمی آب زیرزمینی می‌شود. ارزیابی آثار سد گتوند علیا با بهره‌گیری از ماتریس ایرانی و با تکیه بر پارامترهای محیط زیستی در مرحله بهره‌برداری، در جدول ۳ ارائه شده است. با تجزیه و تحلیل ماتریس ایرانی مشخص شد

که تعداد آثار میانگین جبری منفی در ستون برابر با ۶ عدد و تعداد پیامدهای، میانگین جبری منفی در ردیف برابر با ۴ عدد است که در این بین تعداد پیامدهای منفی کمتر از ۳/۱- در ستون، مربوط به توسعه گردشگری و تفرج است. همچنین، تعداد آثار منفی کمتر از ۳/۱- در ردیف، مربوط به کیفیت آب رودخانه است. بر این اساس، نتیجه‌گیری از ماتریس نشان می‌دهد که پروژه مورد نظر در حالت پنجم قرار می‌گیرد. در این حالت تعدادی از میانگین‌های رده‌بندی هم در ستون و هم در ردیف‌ها کمتر از ۳/۱- است؛ در حالی که تعداد آنها به ۵۰ درصد نمی‌رسد. در این حالت پروژه با ارائه طرح‌های بهسازی و گزینه‌های اصلاحی مورد تأیید است. بر این اساس، نتیجه گرفت که کاهش کیفیت آب رودخانه کارون و کمیت و کیفیت آب زیرزمینی آبخوان گتوند به بررسی دقیق‌تر به منظور تعیین دقیق سهم اقلیم و سدسازی نیاز دارد.

جدول ۳. نتایج ارزیابی سد گتوند بر محیط زیست

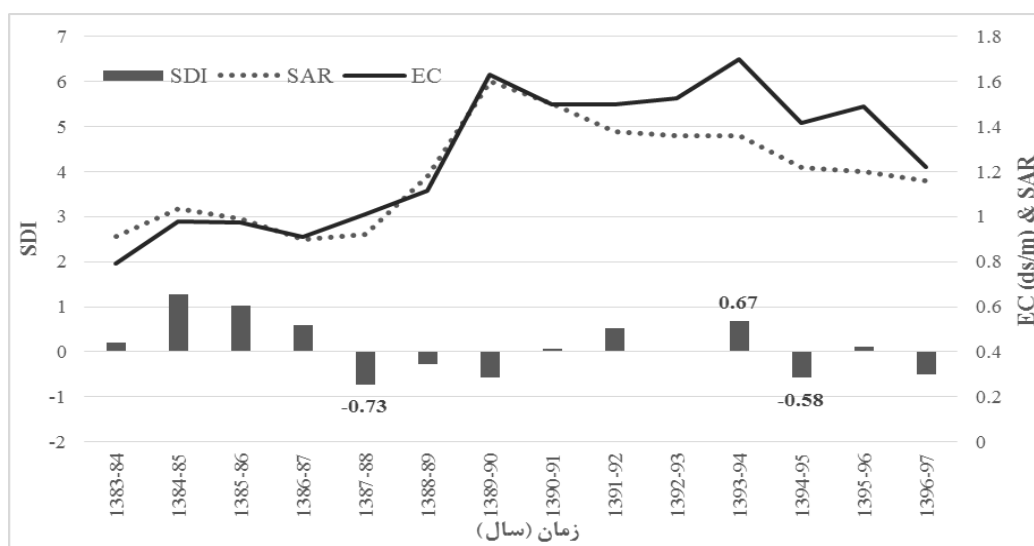
| فعالیت‌ها        |               |                          |                     |               |             |                         |                      |                  |                     |             |                          |
|------------------|---------------|--------------------------|---------------------|---------------|-------------|-------------------------|----------------------|------------------|---------------------|-------------|--------------------------|
| میانگین رده بندی | جمع جبری ارزش | نسبت ارزش‌های مثبت به کل | تعداد ارزش‌های مثبت | تعداد ارزش‌ها | کنترل سیلاب | لابروبی و زهکشی اراضی - | توسعه گردشگری و تفرج | رهاسازی جریان آب | تنظیم جریان رودخانه | آبگیری مخزن | پارامترها                |
| -۳/۲             | -۱۹           | ۰/۱۶                     | ۰                   | ۶             | -۱          | -۲                      | -۴                   | -۴               | -۳                  | -۴          | کیفیت آب رودخانه         |
| -۱/۱۶            | -۷            | ۰/۳۳                     | ۲                   | ۶             | +۱          | -۳                      | -۵                   | -۱               | -۱                  | +۱          | کیفیت آب مخزن            |
| -۱/۸             | -۹            | ۰                        | ۰                   | ۵             | ۰           | -۱                      | -۲                   | -۱               | -۲                  | -۳          | کیفیت آب زیرزمینی        |
| -۲/۱۶            | -۱۳           | ۰                        | ۰                   | ۶             | -۱          | -۲                      | -۲                   | -۳               | -۲                  | -۳          | کمیت آب زیرزمینی         |
|                  |               |                          |                     |               | ۳           | ۴                       | ۴                    | ۴                | ۴                   | ۴           | تعداد ارزش‌ها            |
|                  |               |                          |                     |               | ۱           | ۰                       | ۰                    | ۰                | ۰                   | ۱           | تعداد ارزش‌های مثبت      |
|                  |               |                          |                     |               | ۱           | ۰/۲۵                    | ۰                    | ۰/۲۵             | ۱                   | ۰           | نسبت ارزش‌های مثبت به کل |
|                  |               |                          |                     |               | -۱          | -۹                      | -۱۳                  | -۹               | -۸                  | -۹          | جمع جبری ارزش            |
|                  |               |                          |                     |               | -۰/۳۳       | -۲/۲۵                   | -۳/۲۵                | -۲/۲۵            | -۲                  | -۲/۲۵       | میانگین رده‌بندی         |

سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۹۴ نشان‌دهنده افزایش درخور توجه EC و SAR از سال ۱۳۸۸ است. این نتایج بیانگر افزایش درخور توجه هر دو فاکتور در منطقه گتوند است. نتایج نشان می‌دهد افزایش درخور توجه EC و SAR از سال ۱۳۸۸ آغاز شده است. به منظور بررسی دقیق‌تر سهم اقلیم بر کاهش کیفیت منابع آب سطحی، مقایسه روند

بررسی سهم تغییر اقلیم و سدسازی بر منابع آب سطحی برای تعیین سهم تغییر اقلیم در کاهش کیفیت منابع آب سطحی محدوده مطالعاتی گتوند-عقیلی، با توجه به مطالعات پیشین، مقایسه روند خشکسالی با کیفیت منابع آب در دوره آماری ۱۳۹۶-۱۳۸۳ در شکل ۲ نشان داده شده است. بررسی تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی در

سال ۱۳۹۳ نشان می‌دهد که کاهش محسوس کیفیت آب به طور متوسط ۵۰ درصد بیشتر از سال‌های دیگر همراه با شاخص SDI مثبت به وقوع پیوسته است. بر این اساس، تغییرات اقلیم بر تغییرات کیفیت منابع آب سطحی اثر گذار نبوده است. در عین حال بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی در سالهای ۱۳۸۳ الی ۱۳۹۶ نشان می‌دهد که کیفیت آب‌های سطحی متأثر از دوره‌های خشکسالی نبوده و یا با تاخیر یک ساله خود را نشان می‌دهد.

خشکسالی و کیفیت آب رودخانه کارون در محدوده گتوند مطالعه شد. در شکل ۲ مقادیر شاخص SDI طی دوره آماری در محدوده گتوند - عقیلی نشان داده شده است. بر اساس این نمودار، شدیدترین خشکسالی با رقم شاخص ۰/۷۳- در سال ۱۳۸۷ به وقوع پیوسته است. در عین حال پس از آگیری سد گتوند علیا در سال ۱۳۹۰ مهمترین خشکسالی هیدرولوژیکی در سال ۱۳۹۴ معادل ۰/۵۸- گزارش شده است. بررسی کیفیت و کمیت آب سطحی در



شکل ۲. تغییرات شاخص SDI و کیفیت آب رودخانه کارون در محدوده گتوند در بازه زمانی ۱۳۸۳-۱۳۹۶

مطالعات گذشته نیز همخوانی دارد [۲۷]. نتایج جدول ۴ در ارتباط با سختی نشان می‌دهد بخش اعظم سختی مرتبط با آزادسازی یون منیزیم از سازند گچساران است. همچنین، مطالعات فاکتور COD نشان می‌دهد شرایط برای آبیان به میزان ۸ برابر سخت‌تر شده است. با توجه به شکل ۲، روند کاهش کیفیت منابع آب‌های سطحی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ را می‌توان به آگیری سد گتوند در سال ۱۳۹۰ نسبت داد. مطابق بررسی‌های به‌عمل‌آمده و با توجه به شکل ۳، نزدیکی معدن نمک عنبر و سازند نمکی گچساران به محل سد گتوند علیا (گزارش مطالعات زمین‌شناسی مهندسی توده نمکی عنبر، ۱۳۸۷) در پروژه مطالعاتی این سد در نظر گرفته نشده است. از منظر زمین‌شناسی، مخزن سد گتوند با طولی بیش از ۹۰ کیلومتر توسط سازندهای گچساران، میشان، آغاچاری، لهبری و بختیاری احاطه شده است. با توجه به شکل ۲، حضور سازند گچساران در مخزن سد از منظر زمین‌شناسی

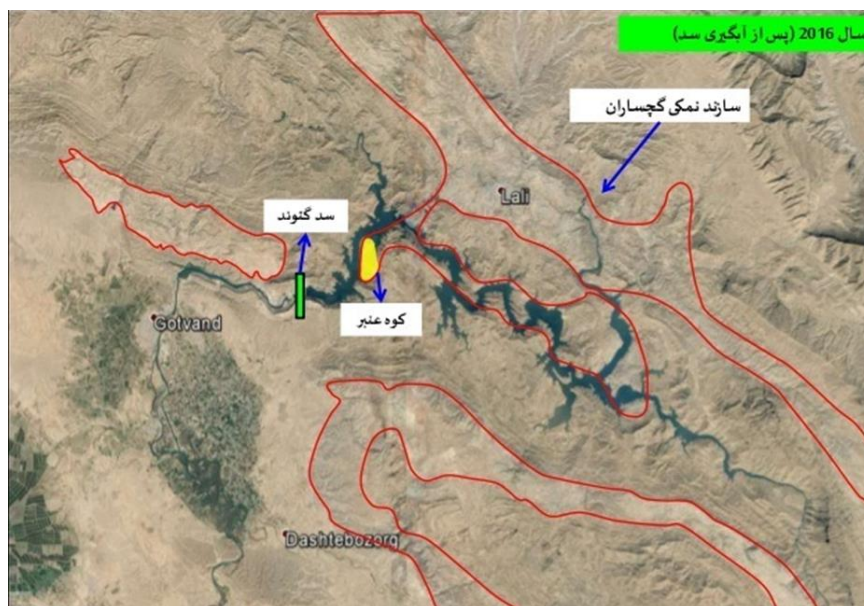
در ادامه، به منظور شفاف‌سازی اثر سدسازی بر کاهش کیفیت آب سطحی، نتایج بررسی فیزیکی شیمیایی آب رودخانه کارون در محدوده سد گتوند علیا در جدول ۴ نشان داده شده است. درخور یادآوری است عملیات نمونه‌برداری آب از سه نقطه شامل فرازبند، بالادست و ۵۰۰ متر پایین‌دست بند تنظیمی سد گتوند علیا انجام شد. هر نمونه از نظر میزان کل هدایت الکتریکی، TDS، pH و COD و سختی آنالیز شدند. مقایسه میزان هدایت الکتریکی و TDS منطقه فرازبند، بالادست و ۵۰۰ متر پایین‌دست سد گتوند علیا نشان می‌دهد افزایش به میزان ۲/۸ برابر شده است. درخور یادآوری است با اختلاف اندک بیشترین میزان EC و TDS در ۵۰۰ متری پایین‌دست بند تنظیمی گتوند علیا گزارش شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد کاهش کیفیت آب در طول رودخانه محسوس نیست و بر اثر اختلاط در رودخانه و به علت قابلیت خودپالایی میزان EC و TDS تنظیم می‌شود که با نتایج

که در فاصله ۵ کیلومتری سد واقع شده است، سبب شده که به هنگام آبیگری و تشکیل دریاچه پشت سد، این معدن نمک به کلی به زیر آب دریاچه فرو رود و این امر شوری آب رودخانه کارون را به بالاترین حد ممکن برساند [۲۸] که نتایج مطالعه حاضر نیز آن را تأیید می‌کند.

زیست‌محیطی قابل بحث است. این سازند شامل لایه‌هایی از مارن انیدریت و نمک است. مهم‌ترین رخنمون این سازند حاوی حجم درخور توجهی از نمک به طول چهار کیلومتر و در بالادست سد قرار دارد. در این منطقه سازند گچساران به طول تقریبی ۲/۵ کیلومتر پس از آبیگری در تماس با آب سد قرار خواهد گرفت [۲۳]. وجود این معدن

جدول ۴. بررسی کیفیت فیزیکی و شیمیایی رودخانه کارون در محدوده سد گتوند

| پارامتر               | واحد  | منطقه فرازبند سد گتوند | بالادست بند تنظیمی گتوند | ۵۰۰ متر پایین دست بند تنظیمی |
|-----------------------|-------|------------------------|--------------------------|------------------------------|
|                       |       | علیا                   | علیا                     | گتوند علیا                   |
| هدایت الکتریکی (EC)   | μs/cm | ۰/۸                    | ۲/۲۴                     | ۲/۲۸                         |
| pH                    | -     | ۸                      | ۸                        | ۸                            |
| کل جامدات محلول (TDS) | mg/L  | ۴۸۰                    | ۱۳۵۰                     | ۱۳۷۰                         |
| سختی کل               | mg/L  | ۲۳۰                    | ۳۱۵                      | ۳۱۰                          |
| سختی کلسیم            | mg/L  | ۱۶۲                    | ۲۴۰                      | ۱۸۵                          |
| سختی منیزیم           | mg/L  | ۷۵                     | ۸۲                       | ۱۲۵                          |
| COD                   | mg/L  | ۱۲/۹                   | ۶/۵                      | ۱/۶                          |



شکل ۳. موقعیت سازند گچساران و معدن عنبر در محدوده مطالعه شده [۲۴]

کاهش تا پایان دوره گزارش شده است. همچنین، روند افزایشی ۲۰ درصدی فاکتور SAR در محدوده مطالعه شده در سال ۱۳۹۱ و پس از آن گزارش شده است.

سپس، به منظور بررسی دقیق‌تر سهم اقلیم بر کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی، مقایسه روند خشکسالی منابع آب زیرزمینی و کیفیت آبخوان مطالعه شد. در شکل ۴ مقادیر شاخص GRI طی دوره آماری ۱۳۸۳-۱۳۹۶ برای

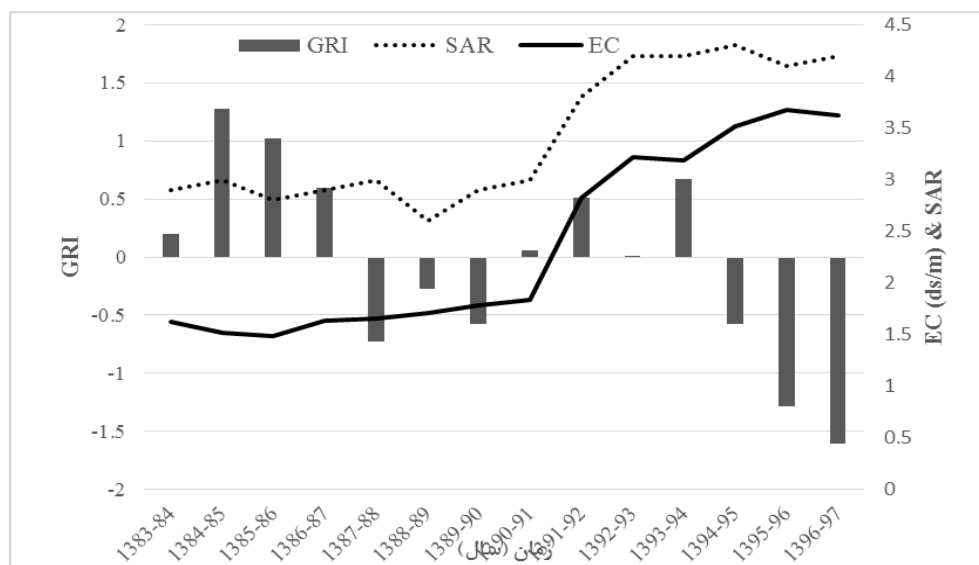
بررسی سهم تغییر اقلیم و سد سازی بر منابع آب زیرزمینی

تعیین سهم اثر اقلیم و فعالیت انسانی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در محدوده گتوند-عقبلی بر اساس آنالیز شیمیایی صورت گرفت. بر این اساس، ابتدا اطلاعات ۳۹ منبع موجود در شکل ۴ نشان‌دهنده افزایش درخور توجه میزان EC و SAR در سال ۱۳۹۱ است. روند تغییرات پس از آن به صورت



عامل اصلی شوری آب زیرزمینی در این حوضه، انحلال هالیت است و تبخیر، تبادل یونی و هوازدگی سنگ‌های سیلیکاته تأثیر کمتری دارند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد فرضیه وجود معدن نمک عنبر در اطراف سد ایجاد مشکل محیط زیستی در فاز بهره‌برداری صحیح بوده است [۲۹]. این معدن در فاصله ۵ کیلومتری از محور سد واقع شده و هنگام آبیگری در حاشیه مخزن سد قرار گرفته است. شوری آب دریاچه پشت سد و سرایت این شوری به کارون در پایین دست سبب کاهش کیفیت آب این رود برای کشاورزی شده است.

آبخوان گتوند - عقیلی نشان داده شده است. بر اساس این نمودار، شاخص GRI به طور کلی روند نزولی ملایمی دارد و در سال ۱۳۹۴ این روند به سمت خشکسالی شدت گرفته است. شدیدترین خشکسالی آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۶ با رقم شاخص ۱/۶- به وقوع پیوسته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ارتباطی بین فاکتورهای کیفیت آب و GRI پس از سال ۱۳۹۰ مشاهده نمی‌گردد. به طوریکه، افزایش قابل ملاحظه میزان EC و SAR در سال ۱۳۹۱ مطابق با GRI مثبت گزارش شده است. با توجه به بررسی‌های زمین‌شناسی، می‌توان گفت که



شکل ۴. تغییرات مقدار EC و SAR منابع آب زیرزمینی آبخوان گتوند-عقیلی در بازه زمانی ۱۳۸۳-۱۳۹۶

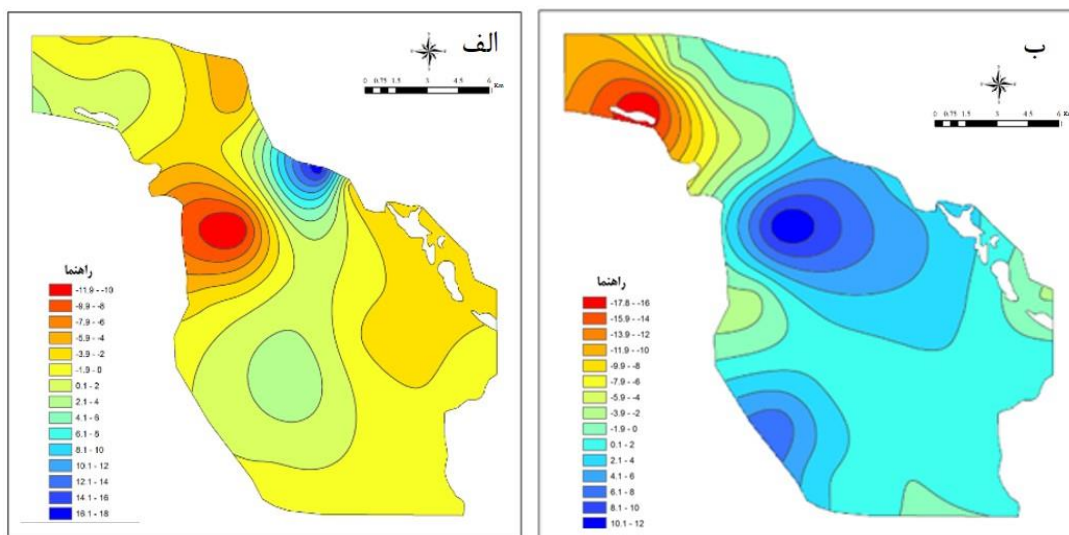
زیرزمینی به طور کلی روندی نزولی دارد و سطح آب زیرزمینی طی این دوره با افتی برابر ۱/۴ متر روبه‌رو بوده است. بنابراین، متوسط افت سالیانه تراز آب زیرزمینی برابر ۱۰/۷ سانتی‌متر محاسبه می‌شود.

با توجه به شکل ۵، سطح آب زیرزمینی در دهه گذشته به تناوب افت داشته است. ارتفاع سطح آب زیرزمینی در ابتدا و انتهای دوره اندازه‌گیری به ترتیب ۷۴/۴ و ۷۳/۰ متر از سطح دریاست. به بیان دیگر، آبخوان در ۱۳ سال گذشته ۱/۴ متر افت داشته است. این مقدار افت با منظور کردن ۲۵۹/۷۴ کیلومترمربع سطح تیسسن و متوسط ضریب ذخیره آبخوان معادل ۶/۵ درصد، بیانگر ۲۳/۳۷ میلیون مترمکعب کاهش حجم مخزن آب زیرزمینی در ۱۳ سال گذشته است.

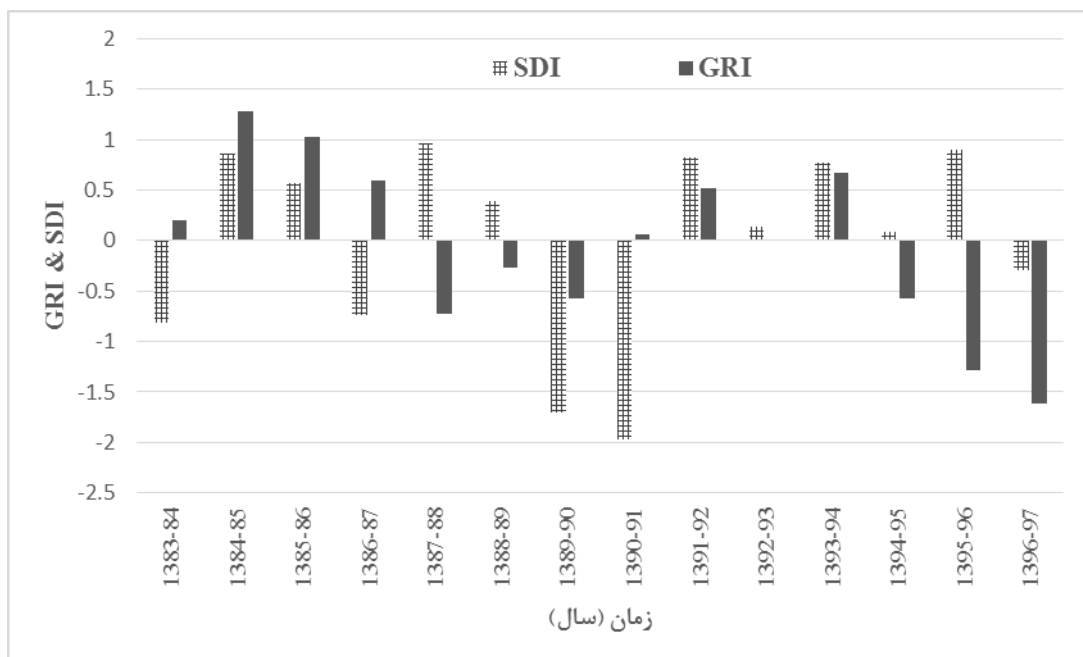
در نهایت، برای تعیین سهم آثار تغییر اقلیم بر کمیت منابع آب زیرزمینی از شاخص هیدروژئولوژیکی و تراز آب زیرزمینی استفاده شد. شکل ۵ پهنه‌بندی تغییرات پنج‌ساله تراز آب زیرزمینی از مهر ۱۳۹۱ تا مهر ۱۳۹۶ و از مهر ۱۳۸۶ تا مهر ۱۳۹۱ را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد طی پنج سال اول (۱۳۹۱ تا ۱۳۹۶) بیشترین کاهش تراز آب زیرزمینی در بخش‌های شمال غربی و بیش از ۱۷ متر بوده و در بخش‌های میانی منطقه افزایش سطح آب زیرزمینی تا بیش از ۱۰ متر را بوده است. اما طی پنج سال دوم (۱۳۸۶ تا ۱۳۹۱) شدت تغییرات کمتر شده، به طوری که بخش‌های غربی و میانی با حدود ۱۱ متر افت، بیشترین کاهش تراز آب زیرزمینی را داشته است. بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی طی دوره آماری ۱۳۸۳-۱۳۹۶ بیانگر آن است که تراز آب

هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی در منطقه مطالعه شده ارتباط معناداری با هم ندارند. با توجه به آبیگری سد گتوند علیا در سال ۱۳۹۰ و بر اساس شکل ۵ که نشان دهنده میزان افت در بخش شمالی منطقه مطالعاتی است، به نظر می رسد می توان افت آبخوان را ناشی از احداث سد گتوند علیا یا برداشتهای منطقهای دانست.

شکل ۶ به بررسی تغییرات SDI و GRI آبخوان گتوند-عقیلی در بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۳۸۳ می پردازد. نتایج نشان می دهد بیشترین خشکسالی هیدرولوژیکی در سال ۱۳۹۶ معادل ۱/۶- صورت گرفته است. همچنین، شدیدترین خشکسالی های هیدروژئولوژیکی در سال های ۱۳۹۰ معادل ۱/۹۷- صورت گرفته است. بر این اساس، خشکسالی های



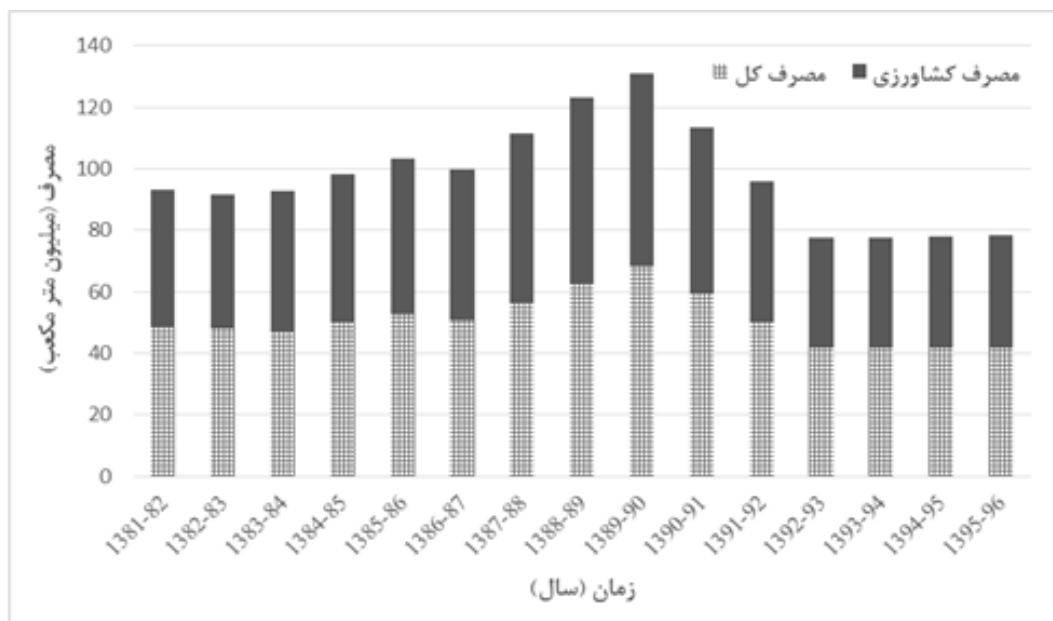
شکل ۵. پهنه بندی تغییرات پنج ساله تراز آب زیرزمینی آبخوان گتوند-عقیلی از مهر (الف) ۱۳۸۶ تا مهر (ب) ۱۳۹۱ و (ب) ۱۳۹۱ تا مهر ۱۳۹۶



شکل ۶. تغییرات SDI و GRI آبخوان گتوند-عقیلی در بازه زمانی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۶

آبرفتی و سازندهای سخت به ترتیب مربوط به سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ به میزان ۶۸/۳۱ میلیون مترمکعب (بیشترین مصرف کل نیز در این سال است) و سال آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ به میزان ۴۱/۹۳ میلیون مترمکعب است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین تخلیه و مصرف از آبخوان در سال ۱۳۹۰ و مصادف با آبیگری سد صورت گرفته است. این در حالی است که پس از سال ۱۳۹۰ تا آخرین سال آماری نیز متوسط میزان مصرف در منطقه افزایش داشته است.

در ادامه، برای تشخیص اثر فعالیت‌های انسانی بر کمیت منابع آب زیرزمینی، وضعیت بهره‌برداری و مصارف از محدوده مطالعاتی گتوند- عقیلی طی دوره آماری یادشده در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به مطالعات حجم اصلی تخلیه آب‌های زیرزمینی محدوده از چاه‌های عمیق است و طی سال‌ها افت نشان می‌دهند، تا جایی که میزان تخلیه کل منابع آبی را با شیب کاهشی به کمتر از ۴۲ میلیون مترمکعب در سال آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ رسانده‌اند. بیشترین و کمترین میزان تخلیه آبخوان‌های



شکل ۷. نمودارهای مصارف کل و کشاورزی در محدوده مطالعاتی گتوند- عقیلی در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۶

نشان داد شدیدترین خشکسالی هیدرولوژیکی با رقم ۱/۹۷- در سال ۱۳۹۰ به وقوع پیوسته است. این در حالی است که در سال یادشده کیفیت آب به طور متوسط ۵۰ درصد نسبت به سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۶ وضعیت مناسب‌تری داشته است. بر این اساس، آثار تغییر اقلیم بر کیفیت آب رودخانه ناشی از فعالیت سازند گچساران، که در حدود ۷۰ کیلومتری مخزن سد قرار دارد، بوده که سبب تخلیه خاک‌های آغشته به نمک به رودخانه می‌شود که تأثیرات آن از نظر افزایش TDS و EC مشخص است. از طرفی، بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی طی دوره آماری ۱۳۸۳-۱۳۹۶ بیانگر آن است که سطح آب زیرزمینی طی این دوره با افتی برابر ۱/۴ متر روبه‌رو بوده است. با توجه به آبیگری سد گتوند علیا در سال ۱۳۹۰ و مقایسه شاخص

### نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف تعیین سهم فعالیت‌های انسانی و طبیعی در تغییرات کیفیت و کمیت منابع آب ایستگاه گتوند صورت گرفته است. سد گتوند علیا یکی از طرح‌های بزرگ عمرانی کشور است که در استان خوزستان و روی رودخانه کارون بین مسجد سلیمان و سد تنظیمی گتوند احداث شده است. بررسی سهم فعالیت انسانی (سدسازی) بر منابع آب منطقه مطالعاتی گتوند با استفاده از ماتریس ایرانی نشان می‌دهد کاهش کیفیت آب رودخانه کارون به همراه کمیت و کیفیت آب زیرزمینی آبخوان گتوند به بررسی دقیق‌تر به منظور تعیین دقیق سهم اقلیم و سدسازی نیاز دارد. بررسی سهم تغییرات اقلیم در کیفیت آب رودخانه



- [16]. Ghasemi Dastgerdi A.R. Monitoring and forecasting of groundwater droughts in Shahrekord plain using GRI index and Markov chain model. *Journal of Hydrogeology*. 2019; 4(1): 111-125 (in Persian).
- [17]. Zandifar S, Fijani A, Naeimi M, & Khosroshahi M. Temporal and Spatial Changes of Groundwater Drought Index, Case Study: Venus Watershed - Surgery. *Hydrogeology*. 2019; 4 (2): 108-130 (Persian)
- [18]. Chen Z, Grasby SE, Osadetz KG. Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada. *Journal of Hydrology*. 2004;290(1-2):43-62.
- [19]. Jahanbakhsh S, Karimi F. The relationship between drought and groundwater resources. The final report of the research project of Tabriz University. 2009. (Persian)
- [20]. Shati S, Akhund Ali A.M. 2018. Investigation of the effects of recent hydrological drought period on the salinity of Karun River. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 12 (5), 1202-1189 (Persian)
- [21]. Salehvand, A. Sabzevari, A. 2014. Investigation of environmental pollution of rivers and water quality changes in recent years (Carron's case study at Gotvand station). First National Conference on Architecture, Civil Engineering and Urban Environment (Persian)
- [22] Hashemifard A, Kordvani P, Asadian F. Analysis of the effects of pollutants of human origin on the water quality of Karun River (Gotvand Dam to Ahvaz). *Quarterly Journal of Regional Planning*, 2018; 8(30): 146-155.
- [23]. Baqadashtaki B, Khomehchian M, Nazari M.H. Determination of solubility of amber salt mass located in Gotvand and its effect on reservoir water quality, First Conference on Applied Research in Iranian Water Resources, Kermanshah. 2010. (Persian).
- [24]. Report of Geological Engineering Studies of Anbar Salt Mass. Studies of the Third Stage of Gotvand Project, Company Mahab Quds. 2008. (Persian)
- [25]. Makhdoom M. Four points in evaluating the effects of development, *Journal of Environment and Development*. 2009; 2(3): 9-12. (Persian)
- [26]. Eskandari Domaneh H, Zehtabian Gh, Khosravi H, Azare A. Review and analysis of temporal and spatial relationship between meteorological and hydrological drought in Tehran province. *Geographical Information Quarterly*. 2015;96 (24): 113-120. (Persian)
- [27]. Forests and Rangelands Research Institute. Surface water quality studies of Karun catchment area, Comprehensive dust studies of Khuzestan. (2019c). (Unpublished report) (Persian)
- [28]. Fard MJ, Amanipoor H, Battaleb-Looie S, Ghanemi K. Evaluation of effect factors on water quality of Karun River in downstream and lake of the Gotvand-e-Olya Dam (SW Iran). *Applied Water Science*. 2019;9(7):161.
- [29]. Farshchi DM, Sadatifard A, Hassani H, Zia A. Upper Gotvand Dam and hydro power plant: dealing with salinity in reservoir, challenges, remedies and evaluations. In *Int. Symp. Dams Global Environmental Challenges*. 2014.